نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص. ۴۵۵-۴۴۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 3, Fall. 2019, p. 441-455

اثر محلول‌پاشی پتاسیم و روی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد دو رقم گندم نان تحت تاریخ کاشت تأخیری

حسین کمائی[1]، حمیدرضا عیسوند[2*]، ماشاالله دانشور[3]، فرهاد نظریان فیروزآبادی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی پتاسیم و روی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد دو رقم گندم نان تحت تاریخ کاشت تأخیری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان رامهرمز اجرا گردید. عامل‌های آزمایشی شامل تاریخ کاشت در دو سطح مناسب (۳۰ آبان) و تأخیری (۱۵ دی) به‌عنوان عامل اصلی، محلول‌پاشی در چهار سطح با آب (شاهد)، پتاسیم، روی و پتاسیم + روی به‌عنوان عامل فرعی و دو رقم گندم نان پیشتاز و چمران ۲ به‌عنوان عامل فرعی فرعی بودند. نتایج نشان داد که تاریخ کاشت تأخیری به‌دلیل تنش گرمای انتهایی شاخص سطح برگ (LAI) (۲۵/۹۶درصد)، دوام سطح برگ (LAD) (۴۸/۴۴ درصد)، سرعت رشد محصول (CGR) (۲۱/۷۶درصد)، سرعت رشد نسبی (RGR) (۱۳/۷۲ درصد)، سرعت جذب خالص (NAR) (۲۲/۴۳درصد)، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm) (۳/۲۵ درصد)، عملکرد کوانتومی مؤثر فتوسیستم II (ΦPSII) (۴/۳۷ درصد)، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی (Fv'/Fm') (۳/۲۴ درصد) و عملکرد دانه (۲۷/۰۲ درصد) ارقام گندم نان را به‌طور معنی‌داری کاهش داد، اما موجب افزایش معنی‌دار خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) (۲۲/۷۳ درصد) گردید. محلول‌پاشی پتاسیم و روی غیر از NPQ صفات LAI (۱۷/۵۰درصد)، LAD (۱۷/۶۲درصد)، CGR (۳۳/۴۹درصد)، RGR (۱۲/۰۰درصد)، NAR (۳۷/۶۲درصد)، Fv/Fm (۳/۱۲درصد)، ΦPSII (۷/۳۷درصد)،Fv'/Fm' (۶/۶۵ درصد) و عملکرد دانه (۱۷/۳۰ درصد) ارقام گندم نان را تحت تاریخ کاشت تأخیری به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید. به‌طور کلی، استفاده از محلول‌پاشی روی و روی + پتاسیم در رقم چمران ۲ به‌عنوان بهترین ترکیبات تیماری در بهبود صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش گرمای انتهایی، عناصر غذایی، غلات

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) یکی از منابع مهم غذایی در میان گیاهان زراعی عمده جهان به‌شمار می‌رود (Modhej and Fathi, 2008). از نظر میزان تولید، گندم مهمترین گیاه زراعی در جهان بوده و تولید آن در سال زراعی ۲۰۱۵-۲۰۱۴ به حدود ۷۱۷ میلیون تن رسید (Mansouri and Hosseinpour, 2015). سطح زیر کشت گندم ایران سالانه حدود ۵/۷ میلیون هکتار برآورد می‌شود (۲/۲۳ میلیون هکتار آبی و ۳/۴۷ میلیون هکتار دیم) که حدود ۳۹۴ هزار هکتار از این سطح زیر کشت در استان خوزستان قرار دارد (Ahmadi *et al.*, 2016)، که با تنش گرمای انتهای فصل در طی گل‌دهی و دوره پر شدن دانه مواجه شده و منجر به کاهش ۵ تا ۴۰ درصدی عملکرد در این مناطق می‌شود (Jalal Kamali and Duveiller, 2008). در اقلیم‌های گرم و خشک از جمله استان خوزستان به‌دلیل مواجه‌ی مراحل گرده‌افشانی و به‌خصوص پر شدن دانه با تنش گرمای انتهای فصل، عملکرد گندم کاهش یافت (MojtabaieZamani *et al.*, 2015). در پژوهشی شاخص سطح برگ (LAI) تحت تأثیر تاریخ کاشت و ژنوتیپ‌های گندم قرار گرفت، به‌طوری‌که این شاخص در ژنوتیپ‌های حساس نسبت به ژنوتیپ‌های مقاوم و هم‌چنین در تاریخ‌های کاشت تأخیری نسبت به مناسب بیشتر و سریع‌تر کاهش یافت (Dhyani *et al.*, 2013). با اعمال تنش گرمای ملایم (۳۷-۳۰ درجه سانتی‌گراد) تغییری در حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm) مشاهده نشد، اما عملکرد کوانتومی مؤثر فتوسیستم II (ΦPSII) و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی (Fv'/Fm') کاهش و خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) در گندم افزایش نشان داد (Lu and Zhang, 2000). هم‌چنین این محققین با اعمال تنش گرمای شدید (بالاتر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد)

۱- دانش‌آموخته دکتری زراعت، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان
۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۴- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
(*- نویسنده مسئول: Email: eisvand.hr@lu.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i3.73519

علاوه بر کاهش در Fv/Fm و ΦPSII، در Fv'/Fm' نیز کاهش معنی‌داری مشاهده کردند. نتایج تحقیقات نشان داد که در شرایط تنش گرمای ملایم (۳۷-۳۰ درجه سانتی‌گراد) ممانعت از فعالیت روبیسکو، به‌طور مستقیم منجر به ممانعت از تثبیت دی‌اکسید کربن شد و در شرایط تنش گرمای شدید (بالاتر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد)، کاهش فعالیت کمپلکس آزادکننده اکسیژن (OEC)، ممانعت از انتقال الکترون از کوئینون A به کوئینون B و به‌طور کلی خسارت به مرکز واکنش فتوسیستم II عامل اصلی توقف فتوسنتز بود (Allakhverdive *et al.*, 2008). رینولدز و همکاران (Reynolds *et al.*, 2000) گزارش دادند که از راه‌حل‌های اساسی برای برطرف کردن یا کاهش اثرات تنش دمای بالا در طی دوره پر شدن دانه، رعایت تاریخ کاشت به‌عنوان راه‌کار به‌زراعی و پیدا کردن ژنوتیپ‌های گندم مناسب با مجموعه‌ای از صفات مطلوب و قابلیت توارث بالا به‌عنوان راه‌کار به‌نژادی بود.

در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک (ازجمله خوزستان) به‌دلیل بالا بودن اسیدیته (pH) خاک و کمتر بودن حلالیت عناصر غذایی، جذب این عناصر توسط گیاه کمتر می‌باشد، بنابراین محلول‌پاشی، این عناصر را برای گیاهان سریع‌تر در مقایسه با کاربرد خاکی فراهم می‌کند که این می‌تواند برطرف‌کننده مشکل کمبود عناصر غذایی گیاهان در این مناطق باشد (Mousavi *et al.*, 2007; Yadavi *et al.*, 2014).

پتاسیم به‌عنوان یک عنصر غذایی پر مصرف برای بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های مخزن، حفظ شادابی و فعال‌سازی آنزیم‌ها تحت شرایط تنش ضروری است (Mengel and Kirkby, 2001). محلول‌پاشی پتاسیم در گندم نقش مهمی در تنظیم فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاهش آسیب انواع اکسیژن فعال (ROS) ناشی از تنش به غشای پلاسمایی، حفظ یکپارچگی غشای سلولی و حفظ فعالیت آنزیم در سلول ایفا کرد (Raza *et al.*, 2014). این محققین هم‌چنین اظهار داشتند که محلول‌پاشی پتاسیم موجب بهبود تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و روابط آبی گیاه (پتانسیل آب، پتانسیل اسمزی و پتانسیل تورگر) در گیاه گندم تحت شرایط کمبود آب گردید.

روی یک عنصر غذایی ضروری کم مصرف برای گیاهان است که نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیکی سلول، محافظت غشاء در مقابل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها دارد (Marschner, 1995). محلول‌پاشی روی موجب افزایش LAI، سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت جذب خالص (NAR) و عملکرد دانه هیبریدهای ذرت نسبت به شاهد گردید (Mohsin *et al.*, 2014). عملکرد دانه گندم با مصرف روی افزایش نشان داد (Cakmak *et al.*, 2010).

با توجه به اهمیت تولید گندم در جهت تأمین منابع غذایی مورد نیاز کشور و لزوم بهبود تولید آن در بعضی از مناطق از جمله استان خوزستان که با تنش گرمای انتهای فصل مواجه هستند و هم‌چنین توجه کمتر به نقش محلول‌پاشی عناصر غذایی به‌خصوص پتاسیم و روی در کاهش اثرات زیان‌بار تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد گندم، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی پتاسیم و روی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد دانه دو رقم گندم نان تحت تاریخ کاشت تأخیری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهرستان رامهرمز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. عامل‌های آزمایشی شامل تاریخ کاشت در دو سطح مناسب (۳۰ آبان) و تأخیری (۱۵ دی) به‌منظور مواجه شدن مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه با تنش گرمای انتهایی (Radmehr, 1997) به‌عنوان عامل اصلی، محلول‌پاشی در چهار سطح با آب (شاهد)، پتاسیم، روی و پتاسیم + روی (هر کدام سه لیتر در هکتار) بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان در سه مرحله‌ی پنجه‌زنی (ZGS21)، آبستنی (شکم خوش) (ZGS45) و گرده‌افشانی (ZGS61) به‌عنوان عامل فرعی و دو رقم گندم نان پیشتاز و چمران ۲ به‌عنوان عامل فرعی فرعی بودند. از ویژگی‌های رقم پیشتاز می‌توان به تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۹۲ سانتی‌متر، میانگین وزن هزار دانه ۴۵ گرم، میانگین عملکرد دانه ۷/۴ تن در هکتار، نیمه زودرس و حساس بودن به دمای بالا و از ویژگی‌های رقم چمران ۲ می‌توان به تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۹۵ سانتی‌متر، میانگین وزن هزار دانه ۳۹ گرم، میانگین عملکرد دانه ۶/۵ تن در هکتار، زودرس و متحمل بودن به دمای بالا اشاره کرد (Modhej and Fathi, 2008). برای محلول‌پاشی عناصر غذایی پتاسیم و روی به‌ترتیب از کودهای مایع پتاسیم ۲۱ درصد و کلات - روی ۷/۵ درصد (محصولات شرکت زرافشان) به‌میزان سه لیتر در ۱۰۰۰ لیتر آب در هکتار استفاده گردید. خاک محل آزمایش دارای بافت رسی سیلتی با نفوذپذیری اندک بود. از مشخصات این خاک می‌توان به میزان پایین پتاسیم و عناصر ریزمغذی و ماده آلی و میزان بالای فسفر، اسیدیته و شوری اشاره کرد (جدول ۱). آمار ایستگاه هواشناسی شهرستان رامهرمز در جدول ۲ آورده شده است. میانگین حداقل و حداکثر دمای محل آزمایش در طی دوره پر شدن دانه ارقام گندم در تاریخ‌های کاشت مناسب و تأخیری به‌ترتیب ۱۸ و ۳۲ درجه

سانتی‌گراد و ۲۲ و ۳۸ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. هرکرت شامل هفت ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر و تراکم۴۰۰ بذر در متر مربع با ابعاد ۱/۵×۳ (۳ متر طول و ۱/۵ متر عرض) بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. براساس نتایج آزمون خاک مقادیر ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره (در سه مرحله یک سوم قبل از کاشت، یک سوم در شروع مرحله طویل شدن ساقه و یک سوم آخر در آغاز مرحله گل‌دهی)، ۷۵ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم و ۳۰۰ کیلوگرم کود گوگرد در هکتار قبل از کاشت مصرف گردید. در این آزمایش به‌دلیل بالا بودن میزان فسفر،کود فسفره مصرف نشد. غلظت بحرانی عناصر غذایی پتاسیم، فسفر، روی و بور در خاک برای گیاهان زراعی از جمله گندم در منطقه خوزستان به‌ترتیب ۲۰۰، ۱۲، ۰/۸ و ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است (Tabatabaei, 2013). کشت به روش دستی و در عمق سه سانتی‌متری انجام شد. آبیاری، کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز و آفات به‌گونه‌ای انجام شد که گیاه با تنش دیگری غیر از تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت مواجه نگردد. آبیاری با توجه به نیاز آبی گیاه و شرایط اقلیمی منطقه در هشت مرحله (قبل از کاشت (ZGS0)، رشد گیاهچه (ZGS10)، پنجه‌زنی (ZGS21)، طویل شدن ساقه (ZGS30)، آبستنی (شکم خوش) (ZGS45)، گل‌دهی (ZGS55)، گرده‌افشانی (ZGS61) و پر شدن دانه (ZGS73)) و به‌صورت نشتی- غرقابی انجام شد. زمان برداشت برای تاریخ‌های کاشت مناسب (۳۰ آبان) و تأخیری (۱۵ دی) به‌ترتیب یکم و هفدهم اردیبهشت‌ماه بود.

اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیک رشد

به‌منظور تعیین شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، یک نمونه توسط کوادرات در سطح ۰/۰۹ متر مربع هر کرت در مرحله‌ی گرده‌افشانی (ZGS65) به‌صورت تصادفی انتخاب شد، سپس کل بوته‌های آن محدوده کف‌بر و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس در آزمایشگاه ابتدا وزن نمونه‌ها و طول و عرض برگ‌ها جهت تعیین LAI محاسبه شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۵۲ ساعت (برای اطمینان از رسیدن به وزن ثابت) در آون ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس توزین شدند.

برای اندازه‌گیری LAI، پس از انتقال نمونه‌های گرفته شده به آزمایشگاه، کل برگ‌ها ازساقه‌ها جدا و نهایتاً پنج برگ به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و میانگین طول وعرض برگ‌ها (قسمت عریض‌تر) اندازه‌گیری شد. سپس مساحت برگ‌هابا استفاده از رابطه‌ی (۱) تعیین شد (Shi *et al.*, 1981).

$$LA = L \times W \times 0.75 \quad (۱)$$

در این رابطه، LA: سطح برگ، L: طول برگ، W: عرض برگ و ۰/۷۵: ضریب ثابت سطح برگ برای گندم می‌باشد.

پس از تعیین مساحت برگ‌ها، LAI با استفاده از رابطه‌ی (۲) محاسبه شد (Shi *et al.*, 1981).

$$LAI = Pla \times den / 10000 \quad (۲)$$

در این رابطه، Pla: متوسط سطح برگ برای هر بوته (سانتی‌متر مربع) و den: تراکم واقعی (بوته در متر مربع) می‌باشد.

برای اندازه‌گیری دوام سطح برگ (LAD)، پس از اندازه‌گیری سطح برگ از رابطه‌ی (۳) استفاده شد (Shi *et al.*, 1981).

$$LAD = 1/2\ (LA_2 + LA_1)\ (T_2 - T_1) \quad (۳)$$

در این رابطه، LA_1: سطح برگ مرحله اول، LA_2: سطح برگ مرحله دوم، T_1: زمان نمونه‌برداری اول و T_2: زمان نمونه‌برداری دوم می‌باشد.

برای محاسبه CGR از رابطه‌ی (۴) استفاده شد (Shi *et al.*, 1981).

$$CGR = [(W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)] \times (1/GA) \times 100 \quad (۴)$$

در این رابطه،W_1وW_2 وزن خشک گیاه در ابتدا و انتهای فاصله‌ی زمانی مورد نظر، T_2 و T_1 روزهای مربوطه و GA سطح زمین اشغال شده به‌وسیله‌ی گیاه در هر نمونه‌برداری می‌باشد.

برای محاسبه سرعت رشد نسبی (RGR) از رابطه‌ی (۵) استفاده شد (Shi *et al.*, 1981).

$$RGR = [(\ln W_2 - \ln W_1)/(t_2 - t_1)] \times 100 \quad (۵)$$

در این رابطه، $\ln W_2 - \ln W_1$: اختلاف لگاریتم طبیعی وزن خشک و $T_2 - T_1$: فاصلهٔ زمانی نمونه‌برداری است.

برای محاسبه NAR از رابطه‌ی (۶) استفاده شد (Shi *et al.*, 1981).

$$NAR = CGR/LAI \quad (۶)$$

در این رابطه، CGR: سرعت رشد محصول، و LAI: شاخص سطح برگ می‌باشد.

اندازه‌گیری پارامترهای فلئورسانس کلروفیل

برای اندازه‌گیری پارامترهای فلئورسانس کلروفیل برگ پرچم در شرایط مزرعه‌ای از دستگاه فلئورسانس‌متر مدل (PEA, Walz, Germany) با توانایی اندازه‌گیری فلئورسانس در هر دو حالت روشنایی و تاریکی استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها تنها یک‌بار و در مرحله پر شدن دانه (ZGS73-75) از برگ پرچم در ساعت ده صبح تا یک بعد از ظهر و بعد از ۳۰ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص انجام شد (Van Kooten and Snel, 1990). سپس پارامترهای حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm)، عملکرد کوانتومی مؤثر فتوسیستم II (ΦPSII)، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی (Fv'/Fm') و خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) از طریق روابط (۷)، (۸)، (۹) و (۱۰) محاسبه شدند.

$$Fv/Fm = (Fm - F0)/Fm \quad (۷)$$

$$\Phi PSII = (Fm - F_t)/Fm' \quad (۸)$$

$$Fv'/Fm' = (Fm' - F0')/Fm' \quad (۹)$$

$$NPQ = (Fm - Fm')/Fm' \quad (۱۰)$$

در این روابط، Fm: فلئورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی، F0: فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی، Fv: فلئورسانس متغیر (Fm–F0)، 'Fm: فلئورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با روشنایی، 'F0: فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با روشنایی، و Ft: فلئورسانس کل ساطع شده از برگ سازگار شده به روشنایی می‌باشد.

اندازه‌گیری عملکرد دانه

به‌منظور محاسبه عملکرد دانه، پس ازحذف ۰/۵ متر از حاشیه‌های خطوط کشت پنجم و ششم در مرحله‌ی رسیدگی، کل سنبله‌های برداشت شده از سطح یک متر مربع هرکرت با دست خرمن‌کوبی و بوجاری و پس از آن دانه‌های به‌دست آمده توزین و عملکرد در مترمربع تعیین و در نهایت به هکتار تبدیل شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن مقادیر F، میانگین‌ها با آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental location

هدایت الکتریکی E.C (dS m^{-1})	اسیدیته pH	بافت خاک Soil texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	مواد آلی O.C (%)	فسفر P (mg kg^{-1})	پتاسیم K (mg kg^{-1})	آهن Fe (mg kg^{-1})	روی Zn (mg kg^{-1})
5.80	7.64	Silty clay	47	42	11	0.92	18.60	140	2.80	0.63

جدول۲- آمار ایستگاه هواشناسی در طی دوره آزمایش در شهرستان رامهرمز

Table 2- Weather station statistics during the experimental period in Ramhormoz city

ماه Month	میانگین دمای هوا Mean of air temperature (℃) حداکثر Maximum	حداقل Minimum	رطوبت نسبی RH (%)	بارندگی Precipitation (mm)
November آبان	31.5	17.2	42	20.7
December آذر	25.3	11.1	59	86.4
January دی	18.1	8.8	67	67.7
February بهمن	19	9.1	62	49.7
March اسفند	24.7	12.2	52	40.4
April فروردین	32.5	16.7	43	29.4
May اردیبهشت	38.1	23.2	43	29.6

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر LAI در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر LAI گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان LAI در اثرات متقابل محلول‌پاشی روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۴/۷۰) و کم‌ترین آن در اثرات متقابل محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۲/۲۷) به‌دست آمد (جدول ۵). در آزمایش حاضر، بیشترین میزان LAI در مرحله گرده‌افشانی مشاهده شد و پس از آن و با آغاز مرحله پر شدن دانه‌ها مواد معدنی ذخیره شده در برگ‌ها به دانه‌ها منتقل و برگ‌ها شروع به زرد شدن و ریزش کردند و این شاخص کاهش نشان داد. مدحج و فتحی (Modhej and Fathi, 2008) نیز نتایج مشابهی را گزارش دادند. دیانی و همکاران (Dhyani *et al.*, 2013) اظهار داشتند که LAI در تاریخ‌های کاشت تأخیری نسبت به مناسب و در ارقام گندم حساس نسبت به ارقام مقاوم به گرما به‌دلیل مواجهه با تنش گرمای انتهایی بیشتر و سریع‌تر کاهش یافت. این محققین دلیل کاهش را به نقش تنش گرمای انتهایی در کاهش طول دوره رشد و مواجهه کمتر با شرایط مناسب محیطی نسبت دادند. هم‌چنین برخی محققین افزایش LAI در نتیجه کاربرد پتاسیم (Laghari *et al.*, 2010) و روی (Khan *et al.*, 2008) در گیاه گندم را گزارش دادند. این محققین دلیل این افزایش را با نقش این عناصر در افزایش طول دوره رشد و فرصت کافی برای توسعه اندام‌های هوایی مرتبط دانستند. نتایج آزمایش حاضر یافته‌های محققین فوق را تأیید می‌کند.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های فیزیولوژیک رشد دو رقم گندم نان تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 3- Analysis of variance (Mean of squares) physiological growth indices two cultivars of bread wheat affected by of experimental treatments

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	شاخص سطح برگ LAI	دوام سطح برگ LAD	سرعت رشد محصول CGR	سرعت رشد نسبی RGR	سرعت جذب خالص NAR
بلوک (Block)	2	0.0007^{ns}	27.5747^{ns}	5.1082^{ns}	0.000073^{ns}	0.0007^{ns}
تاریخ کاشت (A)	1	13.7174^{**}	548061.4321^{**}	138.5160^{**}	0.000588^{**}	0.0620^{*}
خطای a (Ea)	2	0.0215	210.4966	0.4987	0.000017	0.0014
محلول‌پاشی (B)	3	1.4963^{**}	15215.3986^{**}	66.9815^{**}	0.000859^{**}	0.1130^{**}
A×B	3	0.1248^{**}	2986.3734^{**}	7.9401^{*}	0.000013^{ns}	0.0126^{ns}
خطای b (Eb)	12	0.0060	48.0499	1.3501	0.000003	0.0101
رقم گندم (C)	1	0.2523^{**}	2595.2855^{**}	6.0776^{ns}	0.000560^{**}	0.0132^{ns}
A×C	1	0.0200^{ns}	471.0654^{*}	6.5564^{*}	0.000004^{ns}	0.0301^{ns}
B×C	3	2.0048^{**}	20248.1319^{**}	113.3594^{**}	0.001364^{**}	0.1679^{**}
A×B×C	3	0.1267^{**}	3369.3176^{**}	6.5168^{*}	0.000042^{**}	0.0165^{ns}
خطای c (Ec)	16	0.0108	82.1904	1.5399	0.000006	0.0111
CV%		3.2	2.8	10.9	4.0	11.8

ns، * و **: به‌ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: Non significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و عملکرد دانه دو رقم گندم نان تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 4- Analysis of variance (Mean of squares) chlorophyll fluorescence parameters and grain yield two cultivars of bread wheat affected by of experimental treatments

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm)	عملکرد کوانتومی مؤثر فتوسیستم II (ΦPSII)	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی (Fv'/Fm')	خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ)	عملکرد دانه (Grain yield)
بلوک (Block)	2	0.00002379^{ns}	0.00028846^{ns}	0.00002486^{ns}	0.00000701^{ns}	0.45^{ns}
تاریخ کاشت (A)	1	0.00578602^{**}	0.01624352^{**}	0.00856002^{**}	0.11960033^{**}	31048585.98^{**}
خطای a (Ea)	2	0.00001327	0.00006652	0.00004190	0.00000515	53.54
محلول‌پاشی(B)	3	0.00147891^{**}	0.01110924^{**}	0.00864930^{**}	0.00034453^{**}	2858344.42^{**}
A×B	3	0.00002041^{ns}	0.00029658^{*}	0.00004369^{ns}	0.00001511^{**}	224269.74^{**}
خطای b (Eb)	12	0.00000347	0.00005472	0.00003974	0.00000109	23598.65
رقم گندم (C)	1	0.00047502^{**}	0.00162169^{**}	0.00225502^{**}	0.00009633^{**}	145959.99^{**}
A×C	1	0.00002002^{ns}	0.00028519^{ns}	0.00000919^{ns}	0.00000208^{ns}	31.20^{ns}
B×C	3	0.00388685^{**}	0.01199430^{**}	0.00817024^{**}	0.00097289^{**}	3255199.99^{**}
A×B×C	3	0.00008431^{*}	0.00028835^{*}	0.00026508^{*}	0.00002364^{**}	312159.90^{**}
خطای c (Ec)	16	0.00000679	0.00008085	0.00010671	0.00000231	14505.37
CV%		1.3	1.2	1.3	1.4	12.6

ns، * و **: به‌ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: Non significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively

دوام سطح برگ (LAD)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم (معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد)، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر LAD در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر LAD گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان LAD در اثر متقابل محلول‌پاشی روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۵۳۳/۴۶ سانتی‌متر مربع در روز) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۱۸۰/۰۲ سانتی‌متر مربع در روز) به‌دست آمد (جدول ۵). در آزمایش حاضر، بیشترین میزان LAD در مرحله گرده‌افشانی مشاهده شد اما پس از این مرحله به‌دلیل انتقال مواد ذخیره‌ای از برگ‌ها به دانه‌ها LAD مانند LAI کاهش نشان داد. مدحج و فتحی (Modhej and

Fathi, 2008) نیز نتایج مشابهی را اظهار داشتند. این محققین گزارش دادند که LAD همان LAI نسبت به زمان است که روندی مشابه با تغییرات این شاخص در واحد زمان دارد و در مرحله گرده‌افشانی به حداکثر میزان خود می‌رسد. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2011) نیز هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری را بین LAI و LAD ارقام گندم گزارش کردند. این محققین اظهار داشتند که ارقام گندم نانی که LAI بیشتری داشتند از LAD بالاتری برخوردار بودند. بنابراین کاهش LAD با تأخیر در کاشت (Blye *et al.*, 1990) و افزایش آن با محلول‌پاشی پتاسیم (Laghari *et al.*, 2010) و روی (Abdoli *et al.*, 2014) متأثر از کاهش و افزایش LAI نسبت به زمان بوده و تأییدکننده نتایج آزمایش حاضر می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین شاخص‌های فیزیولوژیک رشد دو رقم گندم نان تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 5- Comparison of mean physiological growth indices two cultivars of bread wheat affected by of experimental treatments

تاریخ کاشت Planting date	محلول‌پاشی Foliar application	رقم Cultivar	شاخص سطح برگ LAI	دوام سطح برگ LAD (cm^2 day)	سرعت رشد محصول CGR (g m^{-2} day^{-1})	سرعت رشد نسبی RGR (g g^{-1} day^{-1})
تاریخ کاشت مناسب Optimum planting date	آب (شاهد) Water (Control)	پیشتاز Pishtaz	3.06^{ef}	348.24^{e}	8.09^{gh}	0.024^{fg}
		چمران ۲ Chamran 2	3.19^{de}	361.85^{e}	9.83^{efg}	0.027^{ef}
	پتاسیم Potassium	پیشتاز Pishtaz	4.12^{b}	468.37^{b}	18.63^{a}	0.045^{ab}
		چمران ۲ Chamran 2	3.32^{d}	376.97^{d}	9.94^{efg}	0.032^{de}
	روی Zinc	پیشتاز Pishtaz	3.53^{c}	401.54^{c}	10.35^{ef}	0.027^{ef}
		چمران ۲ Chamran 2	4.70^{a}	533.46^{a}	15.82^{b}	0.040^{bc}
	پتاسیم + روی Potassium + Zinc	پیشتاز Pishtaz	3.49^{c}	396.41^{c}	12.58^{d}	0.034^{cd}
		چمران ۲ Chamran 2	4.59^{a}	522.17^{a}	19.20^{a}	0.047^{a}
تاریخ کاشت تأخیری Late planting date	آب (شاهد) Water (Control)	پیشتاز Pishtaz	2.27^{i}	180.02^{i}	6.58^{h}	0.020^{g}
		چمران ۲ Chamran 2	2.35^{hi}	186.06^{hi}	7.44^{h}	0.022^{fg}
	پتاسیم Potassium	پیشتاز Pishtaz	3.02^{f}	239.34^{f}	11.20^{de}	0.025^{fg}
		چمران ۲ Chamran 2	2.43^{gh}	192.80^{ghi}	7.53^{h}	0.023^{fg}
	روی Zinc	پیشتاز Pishtaz	2.58^{g}	204.11^{g}	8.69^{fgh}	0.024^{fg}
		چمران ۲ Chamran 2	3.18^{de}	252.25^{f}	13.26^{cd}	0.024^{fg}
	پتاسیم + روی Potassium + Zinc	پیشتاز Pishtaz	2.46^{gh}	194.90^{gh}	7.57^{h}	0.024^{fg}
		چمران ۲ Chamran 2	3.16^{ef}	249.79^{f}	14.99^{bc}	0.034^{cd}
LSD 5%			0.158	14.30	2.16	0.006

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد به روش LSD ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level using of LSD.

سرعت رشد محصول (CGR)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر ساده رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر CGR در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر CGR گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان CGR در اثر

متقابل محلول‌پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۱۹/۲۰ گرم بر متر مربع زمین در روز) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۶/۵۸ گرم بر متر مربع زمین در روز) به‌دست آمد (جدول ۵). در آزمایش حاضر، بیشترین میزان CGR در مرحله گرده‌افشانی مشاهده شد و پس از آن این شاخص کاهش نشان داد. هوشمندی (Hooshmandi, 2015) نیز نتایج مشابهی را گزارش داد. این محقق گزارش داد که بین CGR و مقدار تابش جذب شده توسط برگ‌های یک گیاه رابطه مستقیم وجود داشت، به‌طوری‌که با ادامه رشد گیاه و افزایش سطح دریافت‌کننده تابش (LAI) CGR افزایش یافت و در مرحله گرده‌افشانی به حداکثر میزان خود رسید و پس از آن در مراحل انتهایی رشد به‌دلیل کاهش LAI و کاهش شدت جذب تابش متأثر از افزایش تقاضا و پیری برگ‌ها CGR روندی نزولی نشان داد (Hooshmandi, 2015). بنابراین، می‌توان اظهار داشت هر عاملی که موجب افزایش LAI و دوام آن شود می‌تواند CGR را افزایش دهد. در آزمایش حاضر، کاهش LAI و دوام آن با تأخیر در کاشت (Dhyani *et al.*, 2013; Blye *et al.*, 1990) و افزایش این شاخص‌ها با محلول‌پاشی پتاسیم (Jahanbin *et al.*, 2015) و روی (Mohsin *et al.*, 2014) مشهود بود، که می‌تواند توجیه‌کننده کاهش و افزایش CGR در نتیجه اعمال تیمارهای فوق باشد.

سرعت رشد نسبی (RGR)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و محلول‌پاشی پتاسیم و روی و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر RGR در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر RGR گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان RGR در اثر متقابل محلول‌پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۰/۰۴۷ گرم بر گرم در روز) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۰/۰۲۰ گرم بر گرم در روز) به‌دست آمد (جدول ۵). در آزمایش حاضر، میزان RGR در مرحله گرده‌افشانی گندم (زمان نمونه‌برداری) نسبت به مراحل رشدی پیش از آنروندی نزولی نشان داد. با این وجود، کاربرد پتاسیم و روی این روند نزولی را کاهش دادند. پناهیان و جماعتی (Panahyan and Jamaati, 2009) اظهار داشتند که در ابتدای فصل رشد و بعد از مرحله طویل شدن ساقه‌ها به‌دلیل اختصاص کل ماده خشک تولید شده به برگ‌ها و نیز به‌علت نفوذ بیشتر نور به درون جامعه گیاهی، سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها بر روی یکدیگر، جذب خالص و تنفس کمتر، میزان RGR بالا بود و به‌تدریج به‌دلیل متراکم شدن پوشش گیاهی میزان RGR روندی کاهشی نشان داد و در انتهای فصل رشد به‌دلیل پیری گیاه، افزایش بافت‌های ساختمانی، کاهش کارایی تولید و متوقف شدن فعالیت‌های گیاه در تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های رویشی و زایشی میزان RGR به کم‌ترین مقدار خود در طی فصل رشد گندم رسید. هوشمندی (Hooshmandi, 2015) اختلاف معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم در RGR گزارش کرد. رحیمی (Rahimi, 2012) نشان داد که با تأخیر در کاشت RGR گندم کاهش یافت. هم‌چنین محققین بسیاری اظهار داشتند که کاربرد پتاسیم (Motaghi and Saki Nejad, 2014) و روی (Mohsin *et al.*, 2014) موجب افزایش RGR گردید. نتایج آزمایش حاضر با یافته‌های محققین فوق هم‌خوانی داشت.

سرعت جذب خالص (NAR)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثرات ساده تاریخ کاشت و محلول‌پاشی پتاسیم و روی و اثر متقابل محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم، اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر NAR در سطح احتمال یک و پنج درصد غیر معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر NAR گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان NAR در اثر متقابل محلول‌پاشی روی و رقم چمران ۲ (۰/۲۴۹ گرم بر متر مربع سطح برگ در روز) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز (۰/۱۱۵ گرم بر متر مربع سطح برگ در روز) به‌دست آمد (جدول ۶). در آزمایش حاضر، میزان NAR در مرحله گرده‌افشانی گندم (زمان نمونه‌برداری) نسبت به مراحل رشدی پیش از آن روندی نزولی نشان داد. با این حال، کاربرد پتاسیم و روی این روند نزولی را تعدیل کردند. مدحج و فتحی (Modhej and Fathi, 2008) اظهار داشتند که مقدار NAR در مراحل اولیه رشد گندم به‌علت سایه‌اندازی کم برگ‌ها بر روی هم در حداکثر میزان خود بود، با ادامه رشد و به‌علت افزایش سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر پایینی مقدار NAR به‌تدریج کاهش یافت و در اواخر فصل رشد به‌علت افزایش بیش از حد سایه‌اندازی و کاهش سطح برگ فتوسنتزکننده و متعاقب آن انتقال مواد معدنی از برگ‌ها به دانه‌ها به حداقل مقدار خود رسید. حیدر (Haider, 2007) گزارش داد که با تأخیر در کاشت NAR گیاه گندم افزایش یافت. این یافته آن با نتایج این آزمایش هم‌خوانی نداشت. دلیل افزایش NAR در این آزمایش را می‌توان با افزایش فتوسنتز و CGR (واقع در صورت کسر معادله NAR) تحت تاریخ کاشت مناسب نسبت به تاریخ کاشت تأخیری مرتبط دانست. هم‌چنین گزارش شد که NAR با محلول‌پاشی پتاسیم (Motaghi and Saki Nejad, 2014) و روی (Mohsin *et al.*, 2014) افزایش نشان داد، که می‌تواند مورد تأیید نتایج آزمایش حاضر باشد.

جدول ٦- مقایسه میانگین سرعت جذب خالص دو رقم گندم نان تحت تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم و روی

Table 6- Comparison of mean NAR two cultivars of bread wheat affected by of potassium and zinc foliar application

محلول‌پاشی Foliar application	رقم Cultivar	سرعت جذب خالص NAR(g m^{-2} day^{-1})
آب (شاهد) Water (Control)	پیشتاز Pishtaz	0.115^{c}
	چمران ۲ Chamran 2	0.198^{b}
پتاسیم Potassium	پیشتاز Pishtaz	0.214^{b}
	چمران ۲ Chamran 2	0.199^{c}
روی Zinc	پیشتاز Pishtaz	0.192^{b}
	چمران ۲ Chamran 2	0.249^{a}
پتاسیم + روی Potassium + Zinc	پیشتاز Pishtaz	0.197^{b}
	چمران ۲ Chamran 2	0.220^{ab}
LSD 5%		0.030

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد به روش LSD ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level using of LSD.

حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و محلول‌پاشی پتاسیم و روی و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر Fv/Fm در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر Fv/Fm گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان Fv/Fm در اثر متقابل محلول‌پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۰/۸۴۲) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۰/۷۷۱) به‌دست آمد (جدول ۷). لو و ژانگ (Lu and Zhang, 2000) گزارش دادند که با اعمال تنش گرما کاهش معنی‌داری در Fv/Fm گیاه گندم مشاهده کردند. این محققین علت کاهش Fv/Fm تحت شرایط تنش گرما را به کاهش فعالیت کمپلکس آزادکننده اکسیژن (OEC) و جلوگیری از انتقال الکترون به محل پذیرنده PSII نسبت دادند، که منجر به بازدارندگی نوری شد. رضا و همکاران (Raza *et al.*, 2013) نشان دادند که پتاسیم در بهبود Fv/Fm تحت شرایط تنش نقش داشت. محلول‌پاشی روی موجب افزایش Fv/Fm برگ پرچم گیاه گندم تحت شرایط تنش خشکی گردید (Ma *et al.*, 2017). از آنجا که کمپلکس آزادکننده اکسیژن (OEC) و فتوسیستم I و II در درون غشای تیلاکوئید قرار دارند، بنابراین می‌توان علت افزایش Fv/Fm تحت تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم و روی را با نقش این تیمارها در تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و پایداری غشای تیلاکوئید مرتبط دانست (Wu *et al.*, 2005; Waraich *et al.*, 2012)، که موجب کاهش آسیب ناشی از انواع اکسیژن فعال (ROS) به زنجیره انتقال الکترون و کمپلکس‌های پروتئینی ازجمله کمپلکس آزادکننده اکسیژن (OEC) و مرکز واکنش فتوسیستم I و II شدند.

عملکرد کوانتومی مؤثر فتوسیستم II (ΦPSII)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر ΦPSII در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر ΦPSII گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان ΦPSII در اثر متقابل محلول‌پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۰/۸۱۲) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۰/۶۷۵) به‌دست آمد (جدول ۷). گزارش شده که تحت تنش گرما ΦPSII برگ پرچم گیاه گندم کاهش یافت (Feng *et al.*, 2014). این محققین دلیل آن را با کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو، افت کارکردی مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII)، کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (PSII) و متعاقب آن کاهش فتوسنتز خالص تحت شرایط تنش گرما مرتبط دانستند. اظهار شده که کاربرد پتاسیم موجب افزایش ΦPSII در برگ پرچم گیاه گندم گردید (Hui-ping

and Yu-hong, 2010). این محققین دلیل آن را به نقش پتاسیم در بهبود زنجیره انتقال الکترون در کلروپلاست و میتوکندری سلول‌های گیاهی، کاهش سمیت انواع اکسیژن فعال (ROS) از طریق فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله سوپراکسید دیسمیوتاز (SOD) و متعاقب آن ممانعت از پراکسیداسیون غشای سلولی و آزاد شدن ترکیب مالون دی آلدهید (MDA) در برگ پرچم نسبت دادند. هم‌چنین وانگ و جین (Wang and Jin, 2007) گزارش دادند که کابرد روی به‌طور معنی‌داری فعالیت مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) و متعاقب آن ΦPSII را افزایش داد. نتایج آزمایش حاضر با یافته‌های محققین فوق هم‌خوانی داشت.

حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی (Fv'/Fm')

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و محلول‌پاشی پتاسیم و روی و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر Fv'/Fm' در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر Fv'/Fm' گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان Fv'/Fm' در اثر متقابل محلول‌پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۰/۸۲۳) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۰/۷۰۹) به‌دست آمد (جدول ۷). لو و ژانگ (Lu and Zhang, 2000) نشان دادند که با اعمال تنش گرما میزان Fv'/Fm' برگ پرچم گیاه گندم کاهش یافت. کاهش پارامترهای فلئورسانس کلروفیل از جمله Fv'/Fm' تحت تنش گرما نشان داد که بخشی از مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) دچار آسیب شده بود. این آسیب با تغییرات ساختاری در فتوسیستم II (PSII)، به‌ویژه در پروتئین D1، که در شرایط تنش گرما فسفوریلاسیون و متعاقباً تجزیه می‌شود، مرتبط بود (Asada *et al*., 1998). وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2015) اظهار داشتند که Fv'/Fm' تحت شرایط کمبود پتاسیم کاهش یافت. این محققین دلیل آن را با نقش پتاسیم در جلوگیری از اضمحلال فتوسیستم II (PSII) ناشی از جذب بیش از اندازه انرژی خورشیدی و حفظ فتوسنتز طبیعی مرتبط دانستند. وانگ و جین (Wang and Jin, 2007) گزارش دادند که تحت شرایط کمبود روی فعالیت مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) و Fv'/Fm' کاهش نشان داد. گزارش شده که مقادیر بالای انواع اکسیژن فعال (ROS) تحت شرایط کمبود پتاسیم و روی ممکن است منجر به آسیب کمپلکس برداشت‌کننده نور و مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) و مهار توانایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (PSII) و انتقال الکترون گردد (Wang and Jin, 2005; Waraich *et al*., 2012)، که این می‌تواند مؤید نتایج آزمایش حاضر باشد.

خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر NPQ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر NPQ گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان NPQ در اثر متقابل محلول‌پاشی پتاسیم + روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت تأخیری (۰/۴۵۵) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز تحت تاریخ کاشت مناسب (۰/۳۳۲) به‌دست آمد (جدول ۷). دمیگ–آدامز و همکاران (Demmig-Adams *et al*., 1996) افزایش NPQ را به‌عنوان یک نتیجه از کاهش سایر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل از جمله Fv/Fm، ΦPSII و Fv'/Fm' تحت شرایط تنش گرما گزارش کردند و اظهار داشتند که افزایش NPQ بیانگر افزایش اتلاف غیرفتوشیمیایی انرژی برانگیخته و کاهش خسارت به مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) بود. افزایش NPQ تحت تنش گرما یک مکانیسم تنظیمی برای کاهش انتقال الکترون فتوسنتزی مازاد به مرکز واکنش فتوسیستم II (PSII) و کاهش خسارت به آن بود، که باعث شد تولید ATP و NADPH در تعادل با کاهش تقاضا در چرخه کالوین در برگ‌های تحت تنش گرما باشد و از احیاء بیش از حد Q_A جلوگیری شود (Bukhov *et al*., 1998). افزایش NPQ حاکی از ظرفیت بالای چرخه گزانتوفیل و توانایی گیاه در دفع تنش از طریق هدر دادن انرژی به‌صورت گرما و عمدتاً به‌وسیله چرخه گزانتوفیل بود (Maxwell and Johnson, 2000). وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2015) اظهار داشتند که با افزایش غلظت پتاسیم میزان NPQ برگ ذرت نسبت به شاهد کاهش یافت. هم‌چنین گزارش شده که میزان NPQ با محلول‌پاشی سولفات روی تحت شرایط تنش افزایش نشان داد (Jiang *et al*., 2014). این یافته آنها با نتایج آزمایش حاضر هم‌خوانی نداشت. کاهش میزان NPQ در نتیجه محلول‌پاشی پتاسیم و روی نشان داد که گیاه به‌طور مؤثرتری از انرژی جذب شده توسط رنگدانه‌های آنتنی استفاده کرده و با کارایی بیشتری گرمای تابش خورشید را در فتوسیستم II (PSII) کاهش داد (Guo *et al*., 2006). علاوه بر این، نتایج نشان داد که بین پارامترهای فلئورسانس کلروفیل از جمله Fv/Fm، ΦPSII و Fv'/Fm' با NPQ رابطه‌ای معکوس وجود داشت، به‌طوری‌که کاهش NPQ نشان‌دهنده افزایش سایر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و بهبود کارایی فتوسیستم II (PSII) در جذب تشعشع فعال فتوسنتزی بود.

جدول ۷- مقایسه میانگین پارامترهای فلئورسانس کلروفیلو عملکرد دانه دو رقم گندم نان تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 7- Comparison of mean chlorophyll fluorescence parameters and grain yield two cultivars of bread wheat affected by of experimental treatments

تاریخ کاشت Planting date	محلول‌پاشی Foliar application	رقم Cultivar	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی Fv/Fm	عملکرد کوانتومی مؤثر فتوسیستم II ΦPSII	حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با روشنایی Fv'/Fm'	خاموشی غیرفتوشیمیایی NPQ	عملکرد دانه Grain yield (kg h^{-1})
تاریخ کاشت مناسب Optimum planting date	آب (شاهد) Water (Control)	پیشتاز Pishtaz	0.800^{d}	0.704^{fgh}	0.734^{fgh}	0.351^{e}	4572.68^{ef}
		چمران ۲ Chamran 2	0.801^{d}	0.715^{defg}	0.745^{fgh}	0.349^{e}	4611.24^{de}
	پتاسیم Potassium	پیشتاز Pishtaz	0.836^{a}	0.804^{a}	0.820^{abc}	0.333^{f}	5965.67^{b}
		چمران ۲ Chamran 2	0.801^{d}	0.725^{cdef}	0.758^{ef}	0.348^{e}	4802.17^{d}
	روی Zinc	پیشتاز Pishtaz	0.802^{d}	0.739^{cd}	0.771^{de}	0.334^{f}	5115.26^{c}
		چمران ۲ Chamran 2	0.836^{a}	0.806^{a}	0.821^{ab}	0.332^{fg}	6795.63^{a}
	پتاسیم + روی Potassium + Zinc	پیشتاز Pishtaz	0.803^{d}	0.742^{c}	0.773^{de}	0.334^{f}	5049.82^{c}
		چمران ۲ Chamran 2	0.842^{a}	0.812^{a}	0.823^{a}	0.333^{f}	6651.85^{a}
تاریخ کاشت تأخیری Late planting date	آب (شاهد) Water (Control)	پیشتاز Pishtaz	0.771^{f}	0.675^{i}	0.709^{i}	0.455^{a}	3295.56^{i}
		چمران ۲ Chamran 2	0.778^{ef}	0.682^{hi}	0.722^{hi}	0.452^{ab}	3406.05^{hi}
	پتاسیم Potassium	پیشتاز Pishtaz	0.814^{c}	0.734^{cde}	0.796^{bcd}	0.432^{c}	4381.33^{f}
		چمران ۲ Chamran 2	0.781^{e}	0.711^{efg}	0.749^{efg}	0.432^{c}	3774.26^{g}
	روی Zinc	پیشتاز Pishtaz	0.781^{e}	0.693^{ghi}	0.728^{ghi}	0.432^{c}	3562.98^{gh}
		چمران ۲ Chamran 2	0.817^{bc}	0.773^{b}	0.795^{cd}	0.427^{d}	4617.84^{de}
	پتاسیم + روی Potassium + Zinc	پیشتاز Pishtaz	0.780^{e}	0.709^{efg}	0.744^{fgh}	0.451^{b}	3538.43^{h}
		چمران ۲ Chamran 2	0.822^{b}	0.777^{b}	0.788^{d}	0.432^{c}	4436.10^{ef}
LSD 5%			0.0075	0.026	0.025	0.004	229.16

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد به روش LSD ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level using of LSD.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم گندم، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، محلول‌پاشی پتاسیم و روی و رقم گندم بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تیمارهای آزمایش بر عملکرد دانه گندم نشان داد که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در اثر متقابل محلول‌پاشی روی و رقم چمران ۲ تحت تاریخ کاشت مناسب (۶۷۹۵/۶۳ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین آن در اثر متقابل محلول‌پاشی آب (شاهد) و رقم پیشتاز تحت تاریخ کاشت تأخیری (۳۲۹۵/۵۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۷). اکبری مقدم و همکاران (Akbari Moghaddam *et al.*, 1998) علت کاهش عملکرد دانه گندم با تأخیر در کاشت را تسریع

مراحل رشد و نمو، مواجهه‌ی مراحل حساس رشد گیاه (تقسیم میوز، ظهور سنبله، گرده‌افشانی و پر شدن دانه) با تنش گرمای انتهای فصل و متعاقب آن افزایش میزان عقیمی گلچه‌ها و کاهش تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله ذکر کردند. محمدی (Mohammadi, 2012) و دیانی و همکاران (Dhyani *et al.*, 2013) نیز نتایج مشابهی را گزارش دادند. محلول‌پاشی پتاسیم عملکر دانه گندم را نسبت به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط تنش خشکی افزایش داد (Aown *et al.*, 2012). نشان داده شد که عملکرد دانه گندم در نتیجه کاربرد روی افزایش یافت (Ali *et al.*, 2009). گزارش شد که تشکیل انواع اکسیژن فعال (ROS) ناشی از تنش گرمای انتهای فصل با تولید اتیلن، پراکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه سیالیت غشاء مرتبط است (Wang *et al.*, 2012). هم‌چنین مطالعات پیشین نشان داد که افزایش اتیلن در گیاه گندم، باعث کوتاه شدن دوره پرشدن دانه، کاهش وزن هزار دانه، تسریع بلوغ، پیری زودرس و در نتیجه کاهش عملکرد دانه شد (Beltrano *et al.*, 1999). بنابراین می‌توان علت افزایش عملکرد دانه در نتیجه کاربرد پتاسیم و روی را با نقش این عناصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (Waraich *et al.*, 2012) و در نتیجه کاهش تجمع انواع اکسیژن فعال (ROS) و تولید اتیلن مرتبط دانست.

نتیجه‌گیری

تاریخ کاشت تأخیری به‌دلیل تنش گرمای انتهایی کلیه صفات LAI، LAD، CGR، RGR، NAR، Fv/Fm، ΦPSII، Fv'/Fm' و عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری در ارقام گندم نان پیشتاز و چمران ۲ کاهش داد، اما موجب افزایش NPQ گردید. در بین سطوح مختلف محلول‌پاشی عناصر غذایی، با وجود عدم اختلاف معنی‌دار در اکثر صفات مورد اندازه‌گیری، صفات LAI، LAD، NAR و عملکرد دانه نسبت به محلول‌پاشی روی و صفات CGR، RGR، Fv/Fm، ΦPSII، Fv'/Fm' و NPQ نسبت به محلول‌پاشی پتاسیم + روی تحت هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری واکنش مناسب‌تری نشان دادند. در بین اثرات متقابل محلول‌پاشی عناصر غذایی و رقم گندم، واکنش رقم پیشتاز به محلول‌پاشی پتاسیم و واکنش رقم چمران ۲ به محلول‌پاشی روی و پتاسیم + روی مناسب‌تر بود. در بین ارقام گندم مورد کشت، رقم چمران ۲ نسبت به رقم پیشتاز در کلیه صفات مورد اندازه‌گیری تحت هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری از برتری نسبی برخوردار بود. به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت که محلول‌پاشی پتاسیم و روی غیر از NPQ موجب افزایش کلیه صفات مورد اندازه‌گیری ارقام گندم نان پیشتاز و چمران ۲ تحت هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری در شهرستان رامهرمز گردید.

References

1. Abdoli, M., Esfandiari, E., Mousavi, B., and Sadeghzadeh, B. 2014. Effects of foliar application of zinc sulfate at different phenological stages on yield formation and grain zinc content of bread wheat (cv. Kohdasht). Azarian Journal of Agriculture 1: 11-17. (in Persian with English abstract).
2. Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H. R., Fazeli, M., Hosseinpour, R., Kazemian, A., and Rafiei, M. 2016. Agricultural statistics in farming year 2014-15. Pp. 1-174. (in Persian).
3. Ahmadi, J., Khatibi, M., Amirshekari, H., and Amini Dehagi, M. 2011. Evaluation of the effective morpho-physiological indices on the yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) using multivariate statistical methods. Journals of Agronomy Sciences 4 (4): 55-66. (in Persian with English abstract).
4. Akbari Moghaddam, H., Kambuzia, J., and Sangtarash, M. 1998. Study of variation in grain yield and yield components in two wheat cultivars Hirmand and Falat cross in different planting dates, Pp. 321. In: The proceedings of the 5th Iranian Crop Science Congress, Karaj, Iran. (in Persian with English abstract).
5. Ali, S., Shah, A., Arif, M., Miraj, J., Ali, I., Sajjad, M., Farhatollah, M., Khan, Y., and Khan, M. 2009. Enhancement of wheat grain yield components through foliar application of zinc and boron. Sarhad Journal of Agriculture 25 (1): 15-19.
6. Allakhverdive, S. I., Kreslavski, V. D., Klimov, V. V., Los, D. A., Carpentier, R., and Mohanty, P. 2008. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. Photosynthesis Research 98: 541-550.
7. Aown, M., Raza, S., Saleem, M. F., Anjum, S. A., Khaliq, T., and Wahid, M. A. 2012. Foliar application of potassium under water deficit conditions improved the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). The Journal of Animal and Plant Sciences 22 (2): 431-437.
8. Asada, K., Endo, T., Mano, J., and Miyake, C. 1998. Molecular mechanism for relaxation of and protection from light stress, In K, Saton and N, Murata (eds.), stress responses of photosynthetic organisms. Elsevier. Amsterdam. Pp. 37-52.
9. Beltrano, J., Ronco, M., and Montaldi, E. R. 1999. Drought stress syndrome in wheat is provoked by ethylene evolutionimbalance and reversed by rewatering, aminoethoxyvinylglycine and sodium benzoate. Journal Plant Growth Regulation 18: 59-64.
10. Blye, E. N., Mason, S. E., and Sander, D. H. 1990. Influence of planting date, seeding rate on wheat yield. Agronomy Journal 22: 762-768.

11. Bukhov, N. G., Boucher, N., and Carpentier, R. 1998. Loss of the precise control of photosynthesis and increased yield of non-radiative dissipation of excitation energy after mild treatment of barley leaves. Plant Physiology 104: 563-570.
12. Cakmak, I., Wolfgang, H. P., and Bonnie, M. C. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. Cereal Chemistry Journal 87 (1): 10-20.
13. Demmig-Adams, B., Adams, W. W., and Barker, D. H. 1996. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation. Plant Physiology 98: 253-264.
14. Dhyani, K., Ansari, M. V., Roa, Y., Verma, R. S., Shukla, A., and Tuteja, N. 2013. Comparative physiological response of wheat genotypes under terminal heat stress. Plant Signaling and Behavior 8 (6): 1-6.
15. Feng, B., Liu, P., Li, G., Dong, S. T., Wang, F. H., Kong, L. A., and Zhang, J. W. 2014. Effect of heat stress on the photosynthetic characteristics in flag leaves at the grain-filling stage of different heat-resistant winter wheat varieties. Journal of Agronomy and Crop Science 200: 143-155.
16. Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh Zadeh, A., and Pirzad, A. 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. Journal Phytology 2: 73-79.
17. Guo, H. X., Liu, W. Q., and Shi, Y. C. 2006. Effects of different nitrogen forms on photosynthetic rate and the chlorophyll fluorescence induction kinetics of flue-cured tobacco. Photosynthetica 44: 140-142.
18. Haider, S. A. 2007. Growth analysis in relation to sowing dates in four varieties of wheat: A functional approach. Journal of Life Earth Science 2 (2): 17-25.
19. Hooshmandi, B. 2015. Evaluation some morphophysiological indices and yield of bread wheat cultivars. Crop Physiology Journal 7 (26): 121-134. (in Persian with English abstract).
20. Hui-ping, Zh., and Yu-hong, M. 2010. Effects of potassium fertilizer application time on chlorophyll fluorescence parameters of the flag leaf and on yield of winter wheat in northern Henan sandy soil. Journal of Henan Agriculture University 4: 234-242.
21. Jahanbin, Sh., Vafapour, M., Yadavi, A., and Behzadi, Y. 2015. Assessment of growth and some characteristics of wheat cultivar of Alvand under deficit irrigation and foliar application of potassium di-hydrogen phosphate. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25 (3): 103-118. (in Persian with English abstract).
22. Jalal Kamali, M. R., and Duveiller, E. 2008. Wheat production and research in Iran: a success story. International symposium on wheat yield potential, challenges to international wheat breeding. 2008. Mexico, D. F. CIMMYT.
23. Jiang, W., Sun, X. H., Xu, H. L., and Lu, H. F. 2014. Optimal concentration of zinc sulfate in foliar spray to alleviate salinity stress in *Glycine soja*. Journal of Agricultural Science Technology 16: 445-460.
24. Khan, M. A., Fuller, M. P., and Baluch, F. S. 2008. Effect of soil applied zinc sulfate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil in Pakistan. Cereal Research Communications 36 (4): 571-582.
25. Laghari, G. M., Oad, F. C., Tunio, S., Gandahi, A. W., Siddiqui, M. H., Jagirani, A. W., and Oad, S. M. 2010. Growth, yield and nutrient uptake of various wheat cultivars under different fertilizer regimes. Sarhad Journal of Agriculture 26 (4): 489-497.
26. Lu, C. M., and Zhang, J. H. 2000. Heat-induced multiple effects on PSII in wheat plants. Journal of Plant Physiology 156: 259-265.
27. Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y., and Guo, T. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. Frontiers in Plant Science 8: 1-12.
28. Mansouri, H., and Hosseinpour, S. 2015. The parent specialized company and government commercial of Iran. Cereal Research Centre. Int. Grains Council. Pp. 97-93. (in Persian).
29. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed. Academic Press, New York.
30. Maxwell, K., and Johnson, G. K. 2000. Chlorophyll fluorescence a practical guide. Journal of Experimental Botany 51: 659-668.
31. Mengel, K., and Kirkby, E. A. 2001. Principles of Plant Nutrition, 5th ed, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
32. Modhej, A., and Fathi, Gh. 2008. Wheat physiology. Islamic Azad University Publication (Shushtar branch). Pp. 317. (in Persian).
33. Mohammadi, M. 2012. Effects of kernel weight and source limitation on wheat grain yield under heat stress. African Journal of Biotechnology 11: 2931-2937.
34. Mohsin, A. U., Ahmad, A. U. H., Farooq, M., and Ullah, S. 2014. Influence of zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid maize. The Journal of Animal and Plant Sciences 24 (5): 1494-1503.
35. Mojtabaie Zamani, M., Nabipour, M., and Meskarbashee, M. 2015. Effect of heat stress during grain filling on photosynthesis and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 17 (1): 1-17. (in Persian with English abstract).
36. Motaghi, S., and Saki Nejad, T. 2014. The effect of different levels of humic acid and potassium fertilizer on physiological indices of growth. International Journal of Biosciences 5 (2): 99-105.

37. Mousavi, S. R., Galavi, M., and Ahmadvand, G. 2007. Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato. Asian Journal of Plant Sciences 6 (1): 1256-1260.
38. Panahyan, M., and Jamaati, S. H. 2009. Study of variation trend of growth indices in lentil under drought stress. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 3: 4314-4326.
39. Radmehr, M. 1997. Effect of heat stress on physiology of growth and development of wheat. Ferdowsi University Press. Pp. 201. (in Persian).
40. Rahimi, A. 2012. Effect of planting date and nitrogen on growth and morphological traits of dry land wheat in Yasooj region of Iran. Annals of Biological Research 3 (7): 3263-3266.
41. Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Shah, G. M., Jamil, M., and Khan, I. H. 2013. Potassium applied under drought improves physiological and nutrient uptake performances of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13 (1): 175-185.
42. Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Shah, G. M., Khan, I. H., and Raza, A. 2014. Exogenous application of glycinebetaine and potassium for improving water relations and grain yield of wheat under drought. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 14 (2): 348-364.
43. Reynolds, M. P., Delgado, M. I. B., Gutierrez-Rodriguez, M., and Larque-Saavedra, A. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I: Genetic diversity and crop productivity. Field Crops Research 66: 37-50.
44. Shi, S. F., Goscho, G. J., and Rahil, G. S. 1981. Biomass production o sweet sorghum. Agronomy Journal 173: 1027-1031.
45. Tabatabaei, S. J. 2013. Principles of mineral nutrition of plants. Tabriz University Press. Pp. 544. (in Persian).
46. Van Kooten, O., and Snel, J. F. H. 1990. The use of chlorophyll fluresence nomenclature in plant strees physiology. Photosynthesis Research 25: 147-150.
47. Wang, H., and Jin, J. Y. 2007. Effects of Zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). Agricultural Science in China 6: 988-995.
48. Wang, J. M., Zhao, H., Huang, D., and Wang, Z. 2012. Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. Field Crops Research 135: 89-96.
49. Wang, X., Zhao, X., Jiang, C., Li, C., Cong, S., Wu, D., Chen, Y., Yu, H., and Wang, C. 2015. Effects of potassium deficiency on photosynthesis and photoprotection mechanisms in soybean (*Glycine max* L.). Journal of Integrative Agriculture 14 (5): 856-863.
50. Waraich, E. A., Ahmad, R., Ashraf, M., Saifullah, Y., and Ahmad, M. 2011. Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science 61 (4): 291-304.
51. Waraich, E. A., Ahmad, R., Halim, A., and Aziz, T. 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants. A review: Journal of Soil Science and Plant Nutrition 12: 221-244.
52. Wu, B., Caob, S. C., and Lib, Z. H. 2005. Effects of bioferilizer containing N-fixr, P and K solubilizer and AM fungi on maize growth. Geoderma Journal 125: 155-162.
53. Yadavi, A. R., Saeidi Aboueshaghi, R., Movahhedi Dehnavi, M., and Balouchi, H. 2014. Effect of micronutrients foliar application on grain qualitative characteristics and some physiological traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences ISSN 4 (4): 124-131.
54. Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weeds Research 14: 415-421.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 3, Fall. 2019, p. 441-455

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص. ۴۵۵-۴۴۱

Effect of Potassium and Zinc Foliar Application on Growth Physiological Indices, Chlorophyll Fluorescence Parameters and Yield of Two Bread Wheat Cultivars under Late Planting Date

H. Kamaei[1], H. R. Eisvand[2*], M. Daneshvar[3], F. Nazarian-Firouzabadi[4]

Received: 14-06-2018
Accepted: 18-03-2019

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important sources of plant food for human among the main crops globally. High temperature resulting from delay in planting is one major environmental factor limiting growth and production of wheat, especially in tropical regions. Most of the Iranian soils have high pH and calcareous nature, so absorption of nutrients is limited in these soils. Mineral nutrition of plants plays a critical role in increasing plant resistance to environmental stresses. Among the mineral nutrients, potassium plays a crucial role in the survival of crop plants under environmental stress conditions. Potassium is essential for many physiological processes, such as photosynthesis, maintenance of turgidity and activation of enzymes under stress conditions. Zinc is a ubiquitous micronutrient. It is required as a structural and functional component of many enzymes and proteins.

Materials and Methods

To study the effect of potassium and zinc foliar application on growth physiological indices, chlorophyll fluorescence parameters and yield of two bread wheat cultivars under late planting date, an experiment was conducted as split-split plot based on randomized complete blocks design with 16 treatments and three replications in Ramhormoz city during 2015-2016. The experimental factors were included planting date in two levels optimum (November 21) and late (January 5) as the main factor, nutrients foliar application in four levels (water as a control, potassium, zinc and combination potassium + zinc (each 3 $l.ha^{-1}$)) as the sub factor and two cultivars of bread wheat Pishtaz and Chamran 2 as the sub-sub factor. Solutions for foliar application were prepared by using potassium (21%) and zinc-chelate (7.5%). Traits measured were included leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), net assimilation ratio (NAR), maximal quantum yield of PSII in the dark-adapted state (Fv/Fm), effective quantum yield of PSII photochemistry (ΦPSII), maximal quantum yield of PSII in the light-adapted state (Fv'/Fm'), nonphotochemical quenching (NPQ) and grain yield. To determine LAI, LAD, CGR, RGR, NAR, Fv/Fm, ΦPSII, Fv'/Fm' and NPQ were used from equations 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9, respectively.

1: $LAI = Pla \times den / 10000$

2: $LAD = 1/2\ (LA_2 + LA_1)\ (T_2 - T_1)$

3: $CGR = [(W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)] \times (1/GA) \times 100$

4: $RGR = [(\ln W_2 - \ln W_1)/(T_2 - T_1)] \times 100$

5: $NAR = CGR/LAI$

6: $Fv/Fm = (Fm - F0)/Fm$

7: $\Phi PSII = (Fm - F_t)/Fm'$

8: $Fv'/Fm' = (Fm' - F0')/Fm'$

9: $NPQ = (Fm - Fm')/Fm'$

where, Pla is average leaf area per plant (cm^2); den is real density (plant m^{-2}); LA_1 is primary leaf area (cm^2); LA_2 is secondary leaf area (cm^2); T_1 is first sampling time (day); T_2 is second sampling time (day); W_1 is primary dry weight (g); W_2 is secondary dry weight (g); GA is ground area (m^2); $\ln W_2 - \ln W_1$ is natural logarithm difference of dry weight; Fm is maximal fluorescence yield of the dark-adapted state; F0 is minimal fluorescence yield of the dark-adapted state; Fv is variable fluorescence (dark) (Fm-F0); Ft is fluorescence emitted by the leaves adapted to lighting; Fm' is maximal fluorescence yield of the light-adapted state; F0'is minimal fluorescence yield of the light-adapted state, and Fv' is variable fluorescence (light) (Fm'-F0'). The grain yield was determined at maturity stage and through the harvest of all spikes from the level of 1 m^2 per plot and after removing 0.5 m from the beginning and end respective planting rows (rows 5 and 6).Analysis of variance

1- PhD of Agronomy, Faculty of Agriculture, Lorestan University
2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University
3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University
4- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University
(*- Corresponding Author Email: eisvand.hr@lu.ac.ir)

was performed using general linear model (GLM) procedure of statistical analysis system (SAS version: 9.3). The means were analyzed using the least significant difference (LSD) method at P=0.05 (LSD 0.05).

Results and Discussion

The results showed that late planting date due to terminal heat stress significantly decreased LAI (30.0%), LAD (48.4%), CGR (21.8%), RGR (13.7%), NAR (22.4%), Fv/Fm (3.2%), ΦPSII (4.4%), Fv'/Fm' (3.2%) and grain yield (27.0%) of two cultivars of bread wheat Pishtaz and Chamran 2, but increased significantly the NPQ (22.7%). Potassium and zinc foliar application improved significantly traits the LAI (17.5%), LAD (17.62%), CGR (33.5%), RGR (12.0%), NAR (37.6%), Fv/Fm (3.1%), ΦPSII (7.4%), Fv'/Fm' (6.6%) and grain yield (17.30%) of two cultivars of bread wheat Pishtaz and Chamran 2 under late planting date except for the NPQ. Among the interactions of nutrients foliar application and bread wheat cultivars, the response of Pishtaz and Chamran 2 cultivars were more suitable to potassium foliar application, and zinc and zinc + potassium foliar application, respectively. As well as, among wheat cultivars cultivated under the conditions of non-application of potassium and zinc (control), Chamran 2 cultivar had a comparative advantage in all measured traits under both optimum and late planting dates compared to Pishtaz cultivar.

Conclusions

In general, it can be used from timely planting date, potassium and zinc foliar application and suitable wheat cultivar such as Chamran 2 as three management strategies to reduce the harmful effects of terminal heat stress caused by late planting date in Ramhormoz city.

Keywords: Cereals, Nutrients, Terminal heat stress